

FCX クラリティ搭載の新燃料電池スタック

New Fuel Cell Stack for FCX Clarity

斉 藤 信 広*
Nobuhiro SAITO

菊 池 英 明*
Hideaki KIKUCHI

中 尾 靖 宏**
Yasuhiro NAKAO

要 旨

燃料電池車のコア技術である燃料電池スタックにおいて、軽量・コンパクト化と高出力化を達成した Honda 独自の構造からなる新燃料電池スタック (V Flow FC スタック) を開発した。V Flow FC スタックが開発できたことで、燃料電池スタックをセンタートンネルに搭載する V Flow FC プラットフォームが構築でき、FCX クラリティという本格的セダンのレイアウトが可能となった。

V Flow FC スタックは、V Flow セル構造および Wave 流路セパレータ、1BOX スタック構造という新しい構造からなり、従来の燃料電池スタックと比較して、容積出力密度を50%、重量出力密度を67%向上させることができた。また、この新しい構造により生成水の排出性を向上させ熱容量を低減したことで、低温時の始動特性を向上させることができた。さらに、セルを構成する MEA とセパレータの連続生産および積層の自動化、部品点数の削減をおこなったことで生産性を向上させることができた。

ABSTRACT

In order to achieve weight savings, increased compactness, and higher power output from the fuel cell stack that functions as the core technology for a fuel cell vehicle, Honda has employed a unique configuration in the development of its new V Flow FC stack. The development of the new FC stack has enabled the realization of a V Flow FC platform in which the FC stack is positioned in the center tunnel. This has in turn enabled the use of a full sedan layout.

Based on a V Flow cell structure and wave flow channel separators, and employing a one-box stack configuration, the V Flow FC stack achieves a 50% increase in volume output density and 67% increase in weight output density against the previous FC stack. In addition, the new configuration has increased water drainage capacity, which has reduced heat mass and resulted in enhanced low-temperature startability. Continuous production and automated layering of the MEA and separators that comprise the cells, in addition to a reduction in the number of parts, have enabled the achievement of increased productivity.

1. まえがき

燃料電池は地球温暖化やエネルギー問題に対応するため、CO₂ や有害物質をいっさい排出しない循環型クリーンパワープラントとして期待されている。また、燃料電池車は燃料電池から電気を取り出しモータを駆動するというシステムであることから、Honda はパワープラント搭載位置および出力特性により、新しい価値のクルマを創造できると考え、燃料電池の研究開発に取り組んでいる。

1999 年 9 月に自社開発の燃料電池スタックを燃料電池実験車に搭載して以来、2003 年 10 月にはシール一体金属セパレータとアロマティック電解質膜という部材を開発し、高出力密度化と寒冷地での始動を可能にした Honda FC ス

タックを発表した⁽¹⁾。

引き続き燃料電池スタック構造のさらなる改良に取り組んだ結果、Honda 独自の構造である V Flow セル構造および Wave 流路セパレータ、1BOX スタック構造を開発し、容積出力密度を50%、重量出力密度を67%向上させた。この Honda 独自の V Flow FC スタックとそれをセンタートンネルに搭載する V Flow FC プラットフォームを採用した FCX コンセプトを 2006 年 9 月に発表した。そして、2007 年 11 月には FCX コンセプトを具現化した FCX クラリティという本格的セダンを発表し、2008 年 6 月に生産を開始した。

本稿では、軽量・コンパクト化を達成し、出力および低温時の始動特性、生産性を向上させた V Flow FC スタックについて紹介する。V Flow FC スタックのカットモデルを

* 四輪開発センター

** ホンダエンジニアリング株式会社



Fig. 1 Cut-away model of V Flow FC stack

Fig. 1に示す。ここで図中の赤色部分は水素およびその流れを、青色部分は空気およびその流れを示す。

2. 燃料電池とは

固体高分子型の燃料電池は Fig. 2 に示すように、固体高分子電解質膜を用い水素と酸素との電気化学反応によって化学エネルギーを電気エネルギーに直接変換するものである。

水素極(－)： $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$

酸素極(＋)： $1/2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

水素イオンを伝導する固体高分子電解質膜を二つの電極層(水素極/酸素極)と拡散層で挟み、膜電極接合体⁽²⁾(Membrane Electrode Assembly：MEA)を形成し、このMEAを2枚のセパレータで両側から挟んで1個のセルを形成する。1セルでは開回路時でも理論電圧1.23Vを超える電圧は得られないので、Fig. 3に示すようにセルを積層し、ひとつひとつのセルが発電することで大きな電圧を発生す

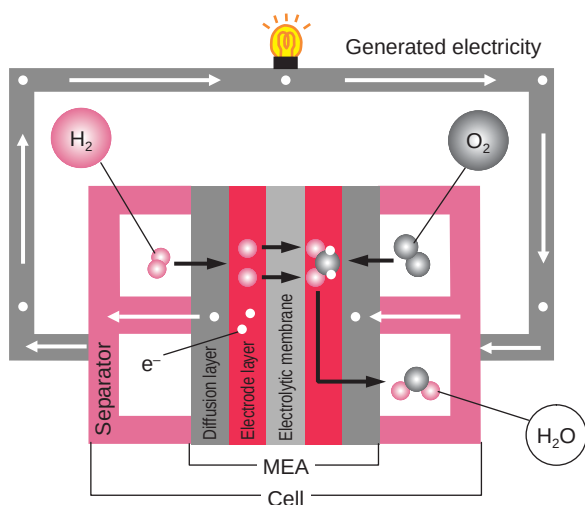


Fig. 2 Mechanism of electricity generation in fuel cell stack

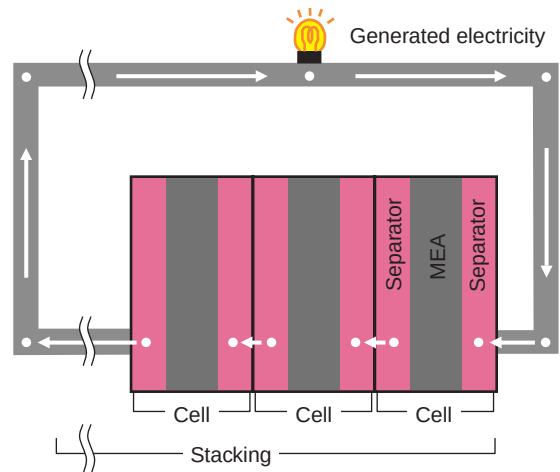


Fig. 3 Fuel cell stack configuration

るようにしている。したがって電圧はセルの積層数により、電流はセルの電極面積によって決まるので、出力を高めるには積層数を増やすか電極面積を拡大する必要がある。

3. 開発の目標

燃料電池車を開発するねらいは以下の通りである。

- (1)地球温暖化やエネルギー問題の課題を解決する。
- (2)クルマの未来を変える新しい価値を提示する。
- (3)大量普及にむけた量産技術を検証する。

よって、新しい燃料電池スタックの開発に際しては、以下の4点を開発の主要な目標とした。

- (a) 軽量・コンパクト化
- (b) 出力および発電安定性の向上
- (c) 低温始動性の向上
- (d) 生産性の向上

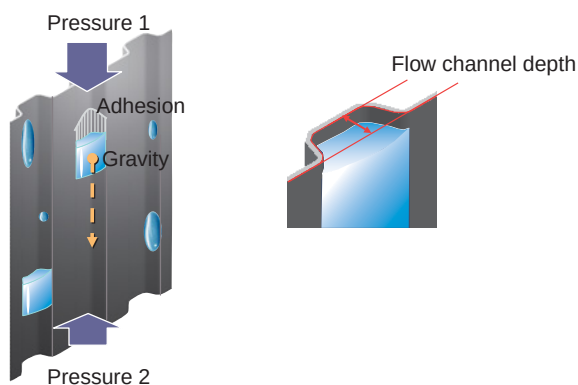
4. V Flow セル構造

燃料電池においてセルを発電させるためには、発電面に水素および空気を連続して供給することが必要である。しかし、水素と酸素が反応することで生成された水がガス流路に滞留するとガスの流れが阻害され、発電面への均等な水素および空気の供給ができなくなり発電が不安定になる。

また、燃料電池スタックをコンパクトにするためには、水素および空気の両ガス流路深さを浅くすることでセル厚さを低減することが必要である。しかしながら、水素および空気のガス流路を浅くすると生成水が流路に付着する力の割合が増し、生成水が滞留しやすくなる。そのためガス流路深さはガス流路への生成水の付着力と生成水の排出力に対して、以下のような関係となる(Fig. 4)。

流路深さ＝生成水の付着力／生成水の排出力

したがって、安定した発電性能とガス流路深さ低減を両立するためには、ガス流路深さ低減で生成水の付着力の割合が増した分、生成水の排出力を高めることが必要である。そこで、従来の Honda FC スタックは水素や空気を横方向に流すセル構造なのに対し、水素や空気を縦方向に流す V Flow セル構造を開発した。この構造により、従来の水素および空気を横方向に流す場合は生成水の排出力がセルの入口と出口の圧力差のみであるのに対して、縦方向に流すことで圧力差に加えて重力も利用することができることとなり、生成水の排出力を高めることが可能となった。これにより流路深さを浅くしても、安定した発電を持続させることが可能となった(Fig. 5)。この結果、従来に対して溝深さを 17%縮小することができた(Fig. 6)。



$$\text{Water drainage capacity} = \text{Pressure 1} - \text{Pressure 2} + \text{Gravity}$$

$$\text{Flow channel depth} = \frac{\text{Water adhesion force}}{\text{Water drainage capacity}}$$

Fig. 4 V Flow cell structure

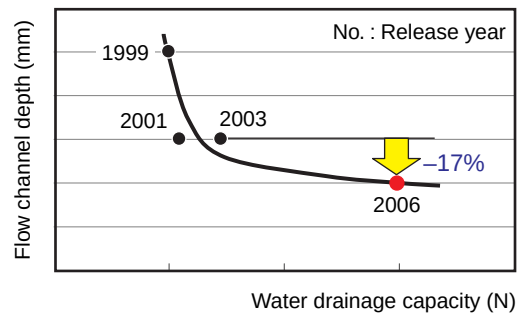


Fig. 6 Comparison of flow channel depth

5. Wave 流路セパレータ

発電性能は発電面に水素および空気、冷媒を均等に流すことで性能を最大限に引き出すことができる。特に、冷媒が均一に流れないと MEA の局部に高温部分が生じ、その部分に変化が生じる。

金属プレスセパレータを用いて流路を直線にした場合は、水素および空気、冷媒は同一方向に流す構造となる。その時、水素および空気、冷媒を各セルに分配・導入する連通口は水素および空気、冷媒と三つが並ぶ形状となるため、発電面への水素および空気、冷媒の導入幅が小さくなり、発電面へ均等に供給できなくなるという課題がある。

水素および空気を発電面に均一に供給するには、それぞれのガス連通口のみを上下に配置し、両ガスの導入幅を広くとり発電面の短辺を2分割することが有効であることが判明した。そこで、冷媒を横方向に流すため、流路をWave形状(波形形状)に設定した(Fig. 7)。冷媒を横方向に向けて

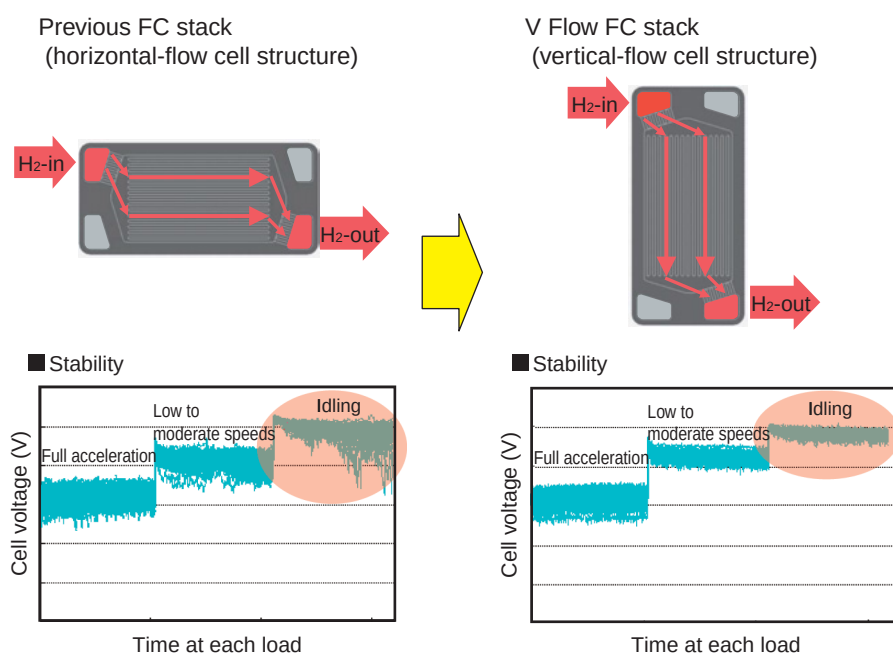


Fig. 5 Comparison of cell structure

水素および空気の流路を立体的に縫うように流す Wave 流路セパレータを開発することによって、両ガスおよび冷媒の導入幅を大きくすることができ面内の供給を均等にすることが可能となった。さらに、Wave 流路は直線流路に比べて一本あたりの流路が長く、しかも流路内の流れに変化を

つけられるため、水素および空気の拡散性を向上させることが可能となる (Fig. 8)。

その結果、電極層全面に水素および空気をいきわたらせることができ発電面を有効に利用することで、直線流路よりも 10% 高い発電性能を実現した。また、冷媒を横方向に流

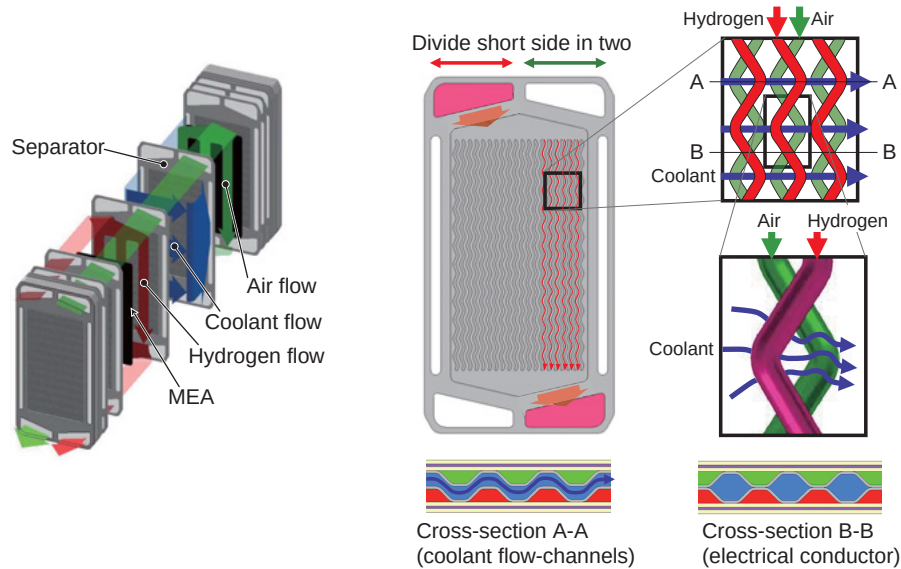


Fig. 7 Wave flow channel separator structure

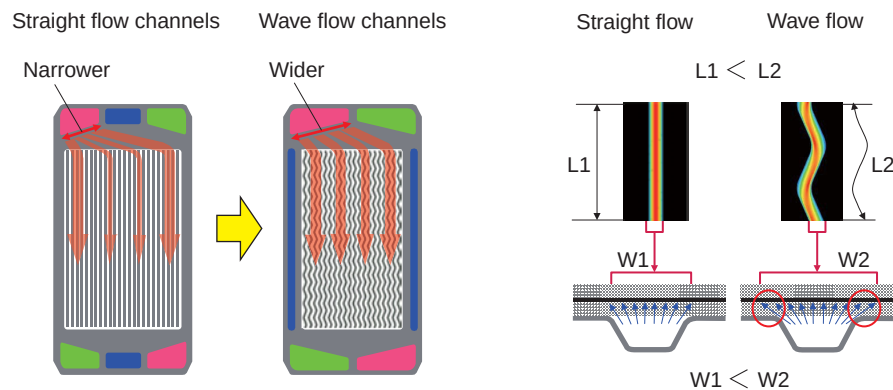


Fig. 8 Enhanced hydrogen-air distribution

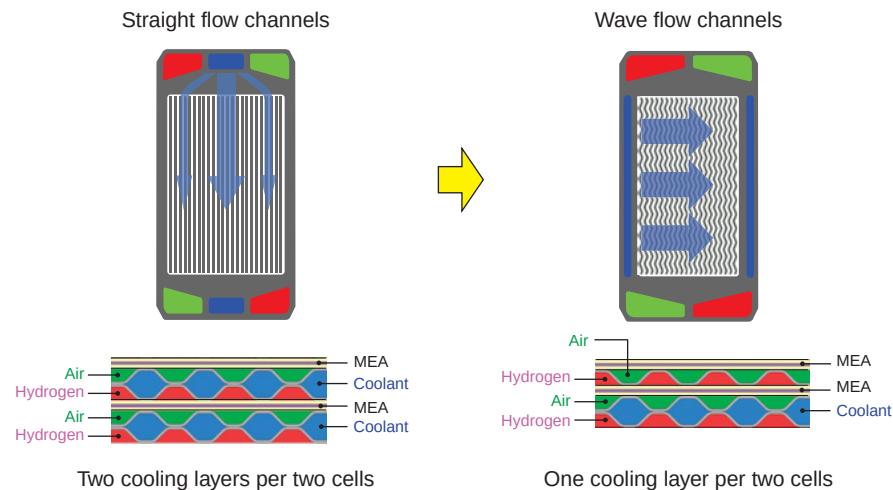


Fig. 9 Enhanced coolant distribution

し発電面を均等に冷却することが可能となったことで、従来は各セルに必要な冷却層を1/2に削減でき、2枚のMEAに対して必要なセパレータを4枚から3枚に減らすことができた(Fig. 9)。これにより、スタック積層長を20%短縮し、重量を30%低減することができた(Fig. 10)。

6. 1BOX 構造

V Flow セル構造と Wave セパレータという二つの技術をもってセル厚さを低減させたことで、従来二つの BOX に

分けて搭載していた燃料電池スタックを一つの BOX にすることが可能となった(Fig. 11)。その結果、従来比で容積出力密度を50%、重量出力密度を67%向上させパッケージ性を向上させることができた(Fig. 12)。

Honda FC スタックの進化を Table 1 に示す。容積出力密度 1.92 kW/L という性能を達成し、1BOX スタック構造としたことで、センタートンネルに燃料電池スタックを搭載する V Flow FC プラットフォームを構成した FCX クラリティという本格的セダンのレイアウトが実現できた。

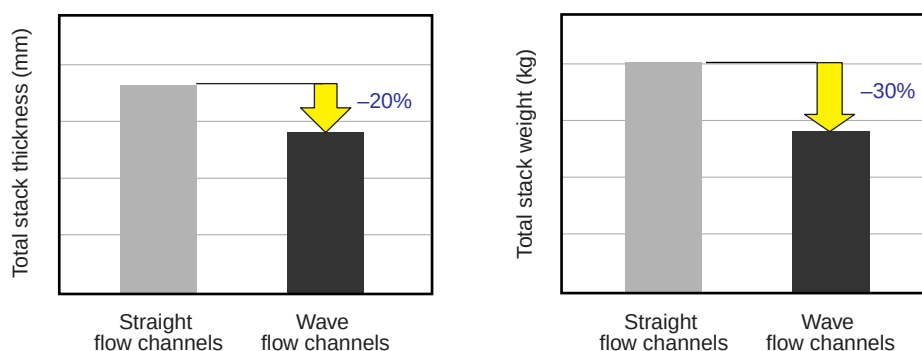


Fig. 10 Reduction of stack thickness and weight

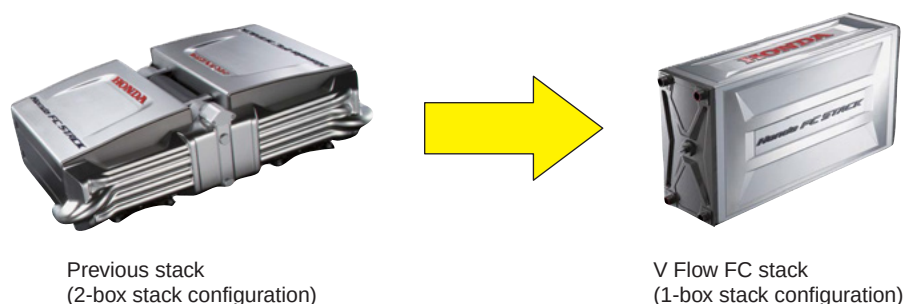


Fig. 11 Evolution of stack configuration

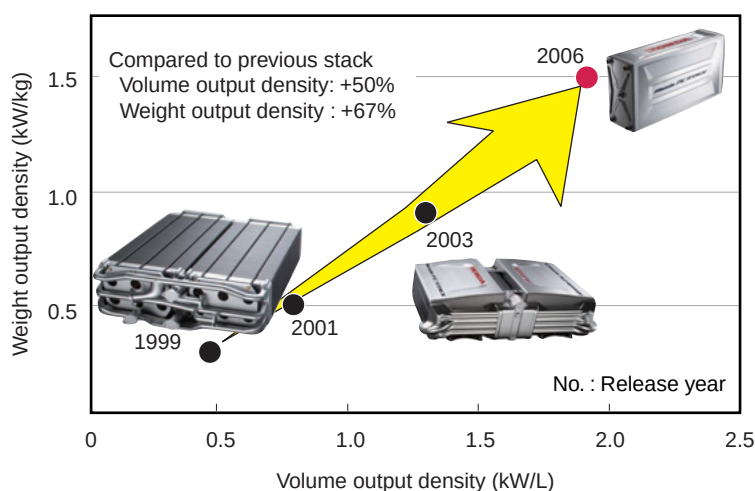


Fig. 12 Comparison of stack output density

Table 1 Evolution of Honda fuel cell stack

Release year	1999	2003	2006
Appearance			
Output	60 kW	86 kW	100 kW
Volume	134 L	66 L	52 L
Weight	202 kg	96 kg	67 kg
Electrolytic membrane	Fluorine electrolytic membrane Operating temperature: 0 °C - 80 °C	Aromatic electrolytic membrane Operating temperature: - 20 °C - 95 °C	Aromatic electrolytic membrane Operating temperature: - 30 °C - 95 °C
Stack configuration	Bolt-fastened configuration	Panel box configuration	1-box stack configuration
Cell structure	Machined carbon separators Separate seals	Stamped metal separators with unitized seals	V Flow cell structure Wave flow channel separators

7. 低温始動性の向上

従来の Honda FC スタックにおいては、膜抵抗を 1/2 としたアロマトミック電解質膜と熱伝導性に優れた金属プレスセパレータを適用することで、- 20°Cでの発電始動を可能とした。

さらなる適用地域拡大を目的に本燃料電池スタックでは、V Flow セル構造によって生成水の排出性を高めたことと、熱容量を40%低減させたことで(Fig. 13)、始動時の出力性能を向上させた。熱容量の低減は Wave 流路セパレータにより冷媒量およびセパレータ数を削減できたこと、1BOXスタック構造による BOX 部品数を削減したことで達成できた。これにより、- 20°C始動時における 50%出力に到達する

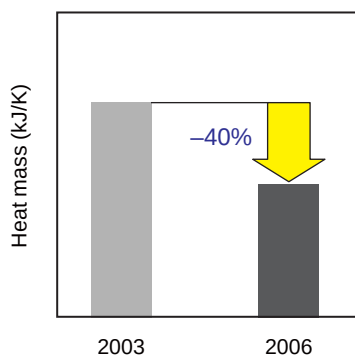


Fig. 13 Comparison of heat mass

る時間は従来と比べて1/4に短縮することができ(Fig. 14)、- 30°Cでの始動も可能となった。

8. 生産性の向上

燃料電池スタックは、何百という多くのセルを積層する構造となっているため、セル部品の生産性向上が課題となる。そこでセルを構成する MEA とセパレータおよびセルの積層について、生産性を向上させるための生産技術とそれに適した仕様の開発をおこなった。

従来の MEA は拡散層で挟む前の電極付電解質膜

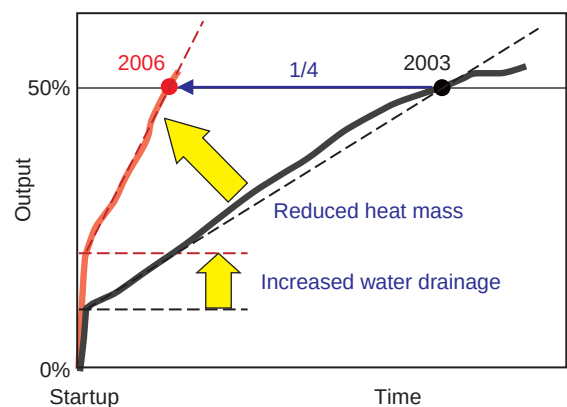


Fig. 14 Comparison of low-temperature performance (-20°C operation)

(Catalyst Coated Membrane: CCM)を作成するために、支持フィルムに電極を塗工した後、電解質膜に電極をホットプレスをして転写していた。これに対してロール状の電解質膜に決められた形状で直接電極を形成するパターン電極直接塗工法を開発したことで CCM 生産の連続化をおこなった(Fig. 15)。さらに、金属プレスセパレータは1枚1枚の板材を順次パッチ式にプレスしていた工程をコイル材を用いた順送プレスに進化させて連続化を図った(Fig. 16)。

従来 MEA は破損しやすく積層時の取り扱いが非常に困難であったが、2枚の MEA と3枚のセパレータで構成する2セルを1ユニットとして取り扱うことで本棚に本を並べるようなロボットによる自動積層が可能となった(Fig. 17)。

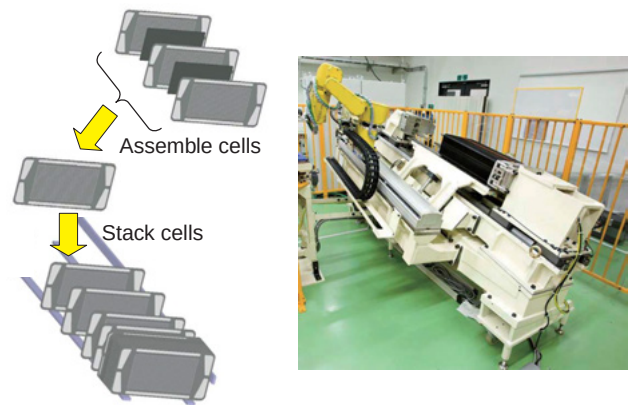


Fig. 17 Cell stacking process

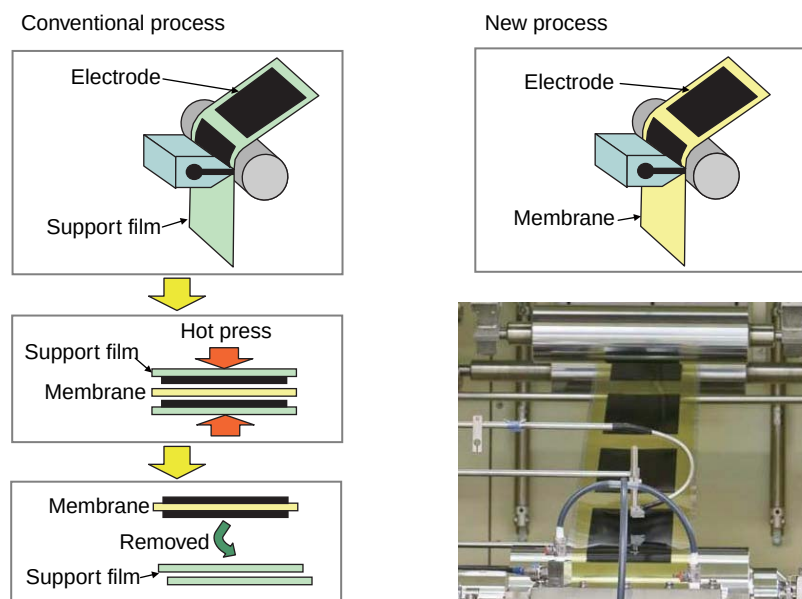


Fig. 15 Electrode coating process

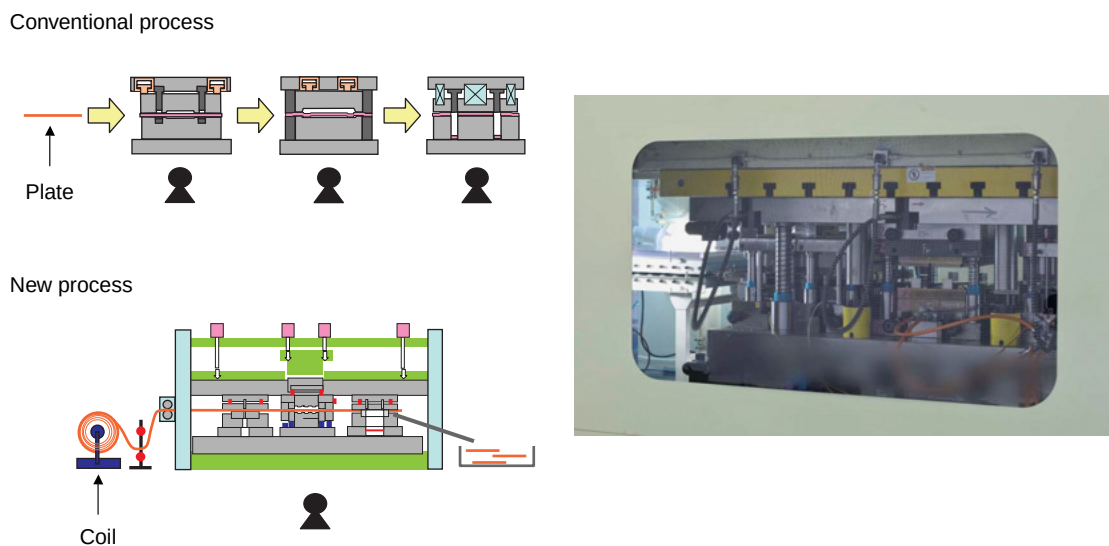


Fig. 16 Separator stamping process

また、冷却層を削減したことと、1BOX スタック構造とすることで部品点数の削減をおこなった。

以上のような生産技術とそれに適した仕様を開発することで連続生産が可能となり生産性の向上が図れた。

9. まとめ

先進的なデザインを実現した FCX クラリティにおいて、V Flow FC プラットフォームの核となる V Flow FC スタックの重要な技術についてまとめると、

- (1) 水素および空気を縦に流す V Flow セル構造を開発したことで、生成水の排出性を向上させることができ、発電安定性を保ったままコンパクト化が図れ、低温始動性も向上した。
- (2) 発電面への水素および空気、冷媒を均等に供給し冷却層の削減を可能にした Wave 流路セパレータを開発したことで、軽量・コンパクト化と出力および低温始動性の向上が図れた。
- (3) セル厚さを低減し軽量・コンパクト化を達成したことで、従来の 2BOX スタック構造から 1BOX スタック構造を可能とし、燃料電池スタックをセンタートンネルに搭載することが可能となった。
- (4) セルを構成する MEA とセパレータの連続生産および積層の自動化、部品点数の削減をおこなったことで生産性の向上が実現できた。

参考文献

- (1) 井ノ上雅次郎, 斉藤信広, 内堀憲治: Honda FCX 搭載の次世代燃料電池スタック, Honda R&D Technical Review, Vol.17, No.2, p.8-13
- (2) 竹中啓恭: 原理と電極反応, 燃料電池技術とその応用, テクノシステム, p.91(2000)

■ 著 者 ■



斉藤 信広



菊池 英明



中尾 靖宏